

Raspodjela naprezanja po presjeku drva u početnoj fazi sušenja

DISTRIBUTION OF STRESSES ON CROSS SECTION OF TIMBER IN INITIAL STAGE OF DRYING

Mr. Izet Horman, dipl. ing.
Mašinski fakultet, Sarajevo

UDK 630:847:630:812.215

Prispjelo: 3. siječnja 1989.

Prihvaćeno: 12. listopada 1989.

Izvorni znanstveni rad

S a ž e t a k

U radu su interpretirani rezultati proračuna unutarnjih naprezanja koja se javljaju po presjeku drva u početnoj fazi sušenja.

Istraživanje je provedeno u proizvodnim uvjetima na bukovim obracima poprečnog presjeka 50 × 50 mm.

Komparacijom dopuštenih s izračunatim vrijednostima unutarnjih naprezanja, konstatirano je da u uvjetima sušenja, koji su prikazani u radu, ne postoji opasnost od pojave grešaka sušenja.

Ključne riječi: bukva — sušenje drva — unutarnja naprezanja.

S u m m a r y

The paper describes the results of calculation of internal stresses appearing on cross section of timber in initial stage of drying.

The investigation was conducted in production conditions on beech workpieces of cross section 50 × 50 mm.

By comparison of allowed and calculated values of internal stresses it was established that in drying conditions as shown in the paper there was no danger of drying defects.

Key words: beech — drying of timber — internal stresses. (A.M.)

1. UVOD

Svako čvrsto tijelo podložno je deformaciji, što znači da mijenja svoju zapreminu i oblik ako na njega djeluju vanjske sile. Zapreminu tijela čine međusobno odvojeni sistemi materijalnih točaka (molekula), koji su povezani unutarnjim (međumolekularnim) silama. Deformacijom tijela dolazi do promjene međumolekularnih razmaka i pojave unutarnjih sila koje teže da uspostave prvobitan raspored molekula. Budući da se radi o djelovanju tih sila na nekoj površini, može se govoriti o pojavi unutarnjih naprezanja.

1.1. Problematika sušenja drva

Promjenu sadržaja vode drva u higroskopnom području prati promjena dimenzija materijala. Kod gubitka vode ova pojava poznata je pod nazivom *utezanje drva*.

Kako drvo sušenjem gubi vodu prvo s površine, pa potom prema unutrašnjosti, neizbježna je pojava gradijenta vlažnosti. Ovisno o brzini promjene uvjeta sušenja, ova pojava može biti manje ili više izražena.

U vezi s tim, na početku sušenja, dok je sadržaj vode u vanjskim dijelovima drva najčešće ispod granice (točke) zasićenosti žice, sadržaj vode

u unutrašnjosti još uvijek je znatno iznad te granice. Kao posljedica javlja se težnja vanjskih slojeva drva utezanju. Međutim, budući da je sadržaj vode u unutrašnjosti znatno iznad granice zasićenosti žice, dolazi do sprečavanja utezanja tih slojeva. Rezultat ovoga je pojava vlačnih naprezanja u vanjskom dijelu drva, dok se kao reakcija njima u unutrašnjosti javljaju tlačna naprezanja.

Dalji gubitak vode i nastanak plastičnih deformacija u vanjskim dijelovima drva, u nastavku procesa sušenja, ima kao posljedicu stvaranje vlačnih naprezanja u unutarnjem dijelu drva i kao reakciju njima pojavu tlačnih naprezanja u vanjskim dijelovima.

Imajući sve ovo u vidu, slijedi konstatacija da proces sušenja treba voditi tako da intenzitet unutarnjih naprezanja, koja se javljaju u drvu tokom sušenja, ne prekorači dopuštenu granicu čvrstoće materijala.

1.2. Cilj istraživanja

Velik gubitak materijala u drvnoj industriji koji nastaje u fazi sušenja drva inicijator je mnogih istraživanja vezanih za tu problematiku. Uzroci problema traže se u nepravilnom odlaganju građe u složajeve namijenjene sušenju, nestruč-

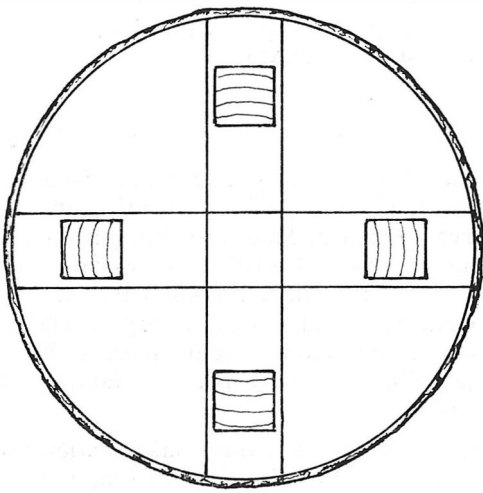
nom vođenju procesa sušenja, te nedovoljnoj istraženosti utjecaja pojedinih parametara na kvalitetu sušenja.

Te nepravilnosti manifestiraju se na građi pojavom pukotina ili deformacijom oblika. Imajući u vidu da se uzdužna deformacija, koja je vrlo česta, najvećim dijelom može eliminirati discipliniranijom manipulacijom građe, a radi pojednostavnjivanja problema, u ovoj studiji razmatrano je po ravninama stanje naprezanja.

U skladu s tim, zadatak istraživanja bio je da se eksperimentalnim putem, u proizvodnim uvjetima, istraži raspodjela unutarnjih naprezanja po presjeku bukovich obradaka u prvoj fazi ciklusa sušenja*.

2. MATERIJALI I METODE

Kao objekt istraživanja uzimani su bukovi obraci poprečnog presjeka 50×50 mm, izrađeni u SOUR »KRIVAJA«. Položaj obradaka u trupcu bio je takav da je nakon izrezivanja na poprečnom presjeku dobivena čista radijalno-tangentna ravnina, tj. tangenta na godove je paralelna s dvije strane poprečnog presjeka (sl. 1).



Slika 1.

U ovoj studiji, za proračun unutarnjih naprezanja primijenjena je modificirana Joungs-Norrisova metoda. U skladu s osnovnim postavkama teorije elastičnosti, rješavanje problema ravnine ovom metodom svodi se na rješavanje diferencijalnih jednadžbi ravnoteže (1) uz zadovoljenje konturnih uvjeta i jednadžbe kompatibilnosti (2).

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 e_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 e_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 e_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (2)$$

gdje je:

σ (τ) — normalno (smičuće) naprezanje,

e_x, e_y, e_{xy} — linearna (ugaona) deformacija

Postoje mnoge približne metode za rješavanje parcijalnih diferencijalnih jednadžbi. Uobičajena metoda za rješavanje jednadžbi ovog tipa sastoji se u uvođenju nove funkcije nazvane *funkcija naprezanja* ili *Airyeva funkcija*. Znači, jednadžbe ravnoteže bit će zadovoljene ako se uzme neka funkcija $\Phi(x, y)$ i stavi da je

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \quad (3)$$

Zadovoljavajući prikaz raspodjele naprezanja po presjeku drva koje se suši daje Joungsova funkcija naprezanja (4).

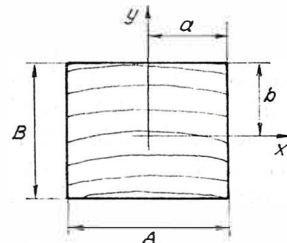
$$\Phi(x, y) = \left[1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{y}{b}\right)^2\right] \left[A_0 + A_1 \left(\frac{x}{a}\right)^2 + A_2 \left(\frac{y}{b}\right)^2 + A_3 \left(\frac{x}{a}\right)^4 + A_4 \left(\frac{y}{b}\right)^4\right] \quad (4)$$

gdje su:

a, b — dimenzije na poprečnom presjeku (sl. 2),

x, y — koordinate točke u kojoj se traže naprezanja,

A_i — konstante Joungsa.



Slika 2.

$$\frac{E_x}{\mu_x} = \frac{E_y}{\mu_y} \quad (5)$$

Primjenom Maxwellove relacije (5), odnosno uvođenjem funkcije $\Phi(x, y)$ u izraze za komponentne deformacije prema Hookeu dobivamo

$$e_x = \frac{1}{E_x} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \mu_x \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right)$$

$$e_y = \frac{1}{E_y} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \mu_x \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

$$e_{xy} = -\frac{1}{E_x E_y} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}$$

* Pod ovom fazom ciklusa sušenja podrazumijeva se razdoblje do izmjene unutarnjih naprezanja.

gdje je:

- μ — Poissonov koeficijent (za drvo bukve i tangencijalni pravac $\mu_x = 0,36$) [lit. 2],
 $E(w, t)$ — funkcija modula elastičnosti,
 w — vlažnost drva,
 t — temperatura drva.

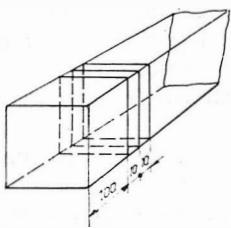
Integriranjem jednadžbi (6) dolazimo do izraza za pomicanja točaka konture presjeka u tangencijalnom (x), odnosno radijalnom pravcu (y).

$$\Delta x = \int_{-a}^{+a} \frac{1}{E_x} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \mu_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right) dx \quad (7)$$

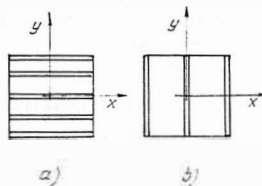
$$\Delta y = \int_{-b}^{+b} \frac{1}{E_y} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \mu_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) dy$$

Prethodno izlaganje navodi na konstataciju da se rješavanje cjelokupnog problema svodi na definiranje funkcije naprezanja. Budući da je za definiranje funkcije $\Phi(x, y)$ potrebno odrediti konstante A_i , to je neophodno formirati sistem od najmanje pet jednadžbi.

Do ovog sistema dolazimo na slijedeći način: Na udaljenosti 100 mm od čela obratka izrežu se dva odsječka debljine 10 mm (sl. 3). Jedan odsječak služi za isjecanje lamela u tangencijalnom pravcu (sl. 4a), dok se iz drugog odsječka lamele isjecaju u radijalnom pravcu (sl. 4b). U gornjem tekstu hotimično se naglašava isjecanje lamela, da bi se uočila razlika između rezanja i cijepanja drva, čime je eliminiran gubitak vlage zbog porasta toplote drva koja nastaje rezanjem lamela.



Slika 3.



Slika 4.

U tangencijalnom pravcu isjecano je pet, dok su u radijalnom pravcu isjecane po tri lamele, kako je pokazano na sl. 4.

U proračunu uziman je u obzir onaj kvadrant koordinatnog sistema čije su lamele nakon isjecanja iz presjeka imale veću promjenu dužine, odnosno relativnu deformaciju, ili manji sadržaj vode, što je u korelaciji s većim vrijednostima modula elastičnosti, odnosno čvrstoće materijala.

Na taj način, unoseći izmjerene i proračunate vrijednosti u izraze (7), formiran je sistem od pet linearnih jednadžbi.

Ispitivanju je podvrgnuto 10 obradaka. Kontrola vlažnosti spomenutih obradaka pratila se na osnovi promjene vlažnosti kontrolne grupe obradaka. Sušenje se provodilo u jednokolosečnoj komori s FOXBORO-poluautomatikom.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Istraživanje je provedeno kod prosječne vlage drva od 29%, dakle, u prvoj fazi ciklusa sušenja [lit. 6]. Tok sušenja, odnosno uvjeti kojima su obraci bili izloženi prije, za vrijeme i poslije ispitivanja predstavljeni su na sl. 5. Ovdje se može vidjeti da se radi o blagim uvjetima sušenja, što upućuje na samu kvalitetu vođenja procesa sušenja.

Rezultati mjerenja dani su u tablici I.

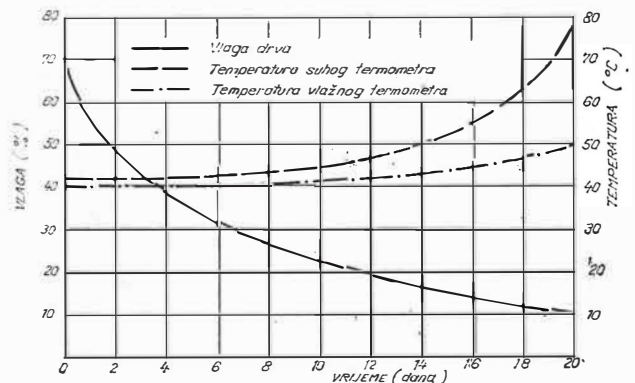
Tablica I.
Table I.

R. BR.	A (mm)	ΔX (mm)	W (%)	Y (mm)
1	52,894	0,225	24,19	25,60
2	53,053	0,023	33,21	15,20
3	53,135	-0,154	35,11	0,00
4	53,042	0,023	32,44	15,20
5	52,934	0,211	25,09	25,60

prosjeak 53,010

R. BR.	B (mm)	ΔY (mm)	W (%)	X (mm)
1	53,219	0,112	23,52	25,50
2	53,249	-0,081	34,89	0,00
3	53,169	0,101	24,82	25,50

prosjeak 53,212



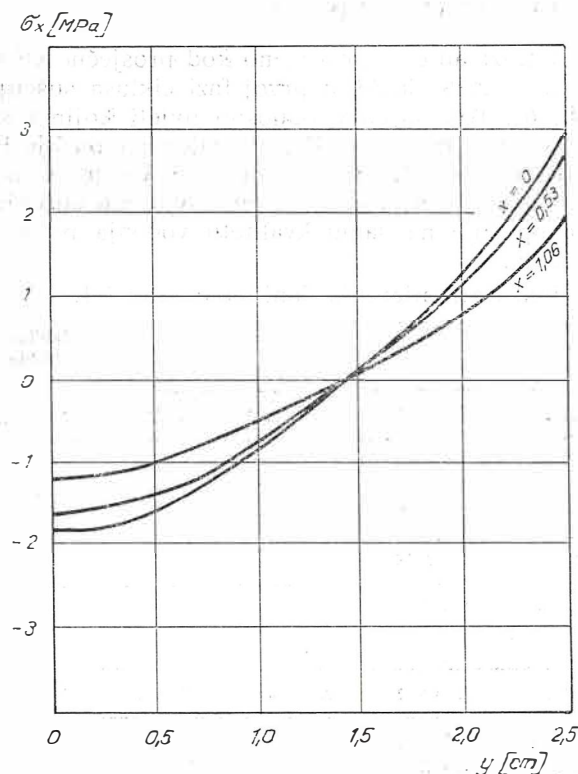
Slika 5. Tok sušenja bukovich obradaka presjeka 50×50 mm

Konstante A_i određene su numerički, primjenom modificirane Gaussove metode. Za proračun unutarnjih naprezanja također su primijenjene numeričke metode.

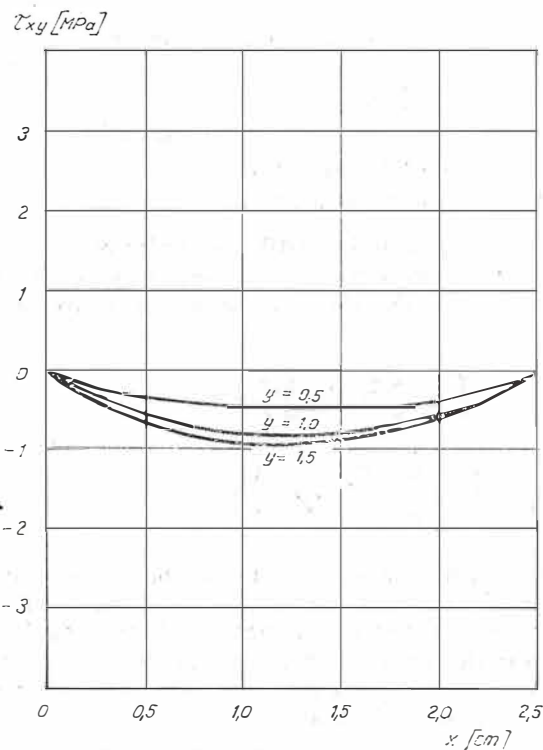
Izračunane vrijednosti unutarnjih naprezanja prikazane su u tablici II. (v. str. 260). Sl. 6. daje grafički prikaz raspodjele normalnih naprezanja, čiji je pravac djelovanja kolinearano s tangencijalnim pravcem. Raspodjela normalnih naprezanja koja djeluju u radijalnom pravcu može se vidjeti sa slike 7. Razvoj smičućih naprezanja po presjeku bukovich obradaka prikazan je na slici 8. Tablica II. otisnuta je na str. 260.

4. ZAKLJUČCI

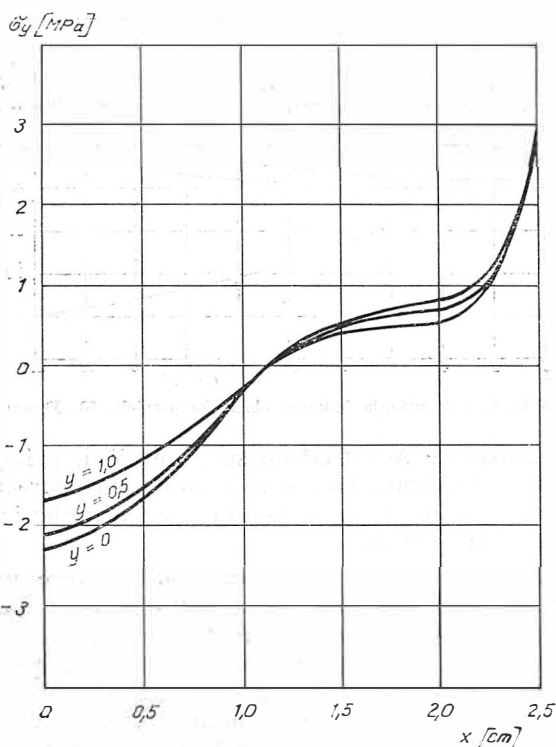
Teoretska analiza, a prije svega eksperimentalni rezultati ispitivanja omogućuju izvođenje slijedećih zaključaka:



Slika 6. Raspodjela normalnih naprezanja (σ_x) po presjeku bukovih obradaka 50x50 mm



Slika 8. Raspodjela smičućih naprezanja (τ_{xy}) po presjeku bukovih obradaka 50x50 mm



Slika 7. Raspodjela normalnih naprezanja (σ_y) po presjeku bukovih obradaka 50x50 mm

- u prikazanim uvjetima umjetnog sušenja glavna naprezanja ne prekoračuju dopuštene granice čvrstoće drva [lit. 5],
- u skladu s uvodnim razmatranjima u ovoj fazi sušenja, vanjski dio drva izložen je vlačnim

naprezanjima, dok se u unutrašnjosti javljaju tlačna naprezanja,

- smičuća naprezanja svojim djelovanjem imaju tendenciju formiranja konveksiteta na stranama presjeka,
- komparacijom Jounsove s ostalim metodama proračuna unutarnjih naprezanja, može se konstatirati da je ova metoda preciznija i da za razliku od ostalih daje mogućnost definiranja stanja naprezanja u svakoj točki presjeka drva koje se suši,
- naredna istraživanja trebalo bi usmjeriti na ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava ostalih domaćih vrsta drva, radi dobivanja relevantnih podataka o elastično-plastičnim svojstvima, neophodnih za analizu razvoja unutarnjih naprezanja kao mjerila ocjene kvalitete sušenja.

LITERATURA

- [1] Ilić, M.: Upotreba različitih metoda mjerenja unutrašnjih naprezanja koja se javljaju u drvetu u toku sušenja. Pregled (1977), 1—2, str. 1—8.
- [2] Kollmann, F., Cote, W.: Principles of Wood Science and Technology I. Berlin, Heidelberg, New York, 1968.
- [3] McMillen, J. M.: Stresses in Wood During Drying. U. S. Forest Products Laboratory, Report No 1652, December 1958.
- [4] McMillen, J. M. and Youngs, R. L.: Stresses In Drying Lumber. Forest Products Laboratory, Report No 2513, December 1960.
- [5] Misilo, P.: Uticaj temperature i vlage drveta na veličinu modula elastičnosti i granica čvrstoće u vlaklu i tlaku za sva tri anatomska pravca. Doktorska disertacija. Sarajevo, 1977.
- [6] Ugoljev, B. N.: Deformativnost drevesiny i napraženiya pri suške. Moskva, 1971.
- [7] Youngs, R. L. and Norris, C. B.: A Method of Calculating Internal Stresses in Drying Wood. U. S. Forest Products Laboratory, Report No 2133, October, 1958.